

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

F572V8
jc525 U.S. PTO
09/513702
02/25/00

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1 9 9 9 年 6 月 9 日

出 願 番 号

Application Number:

平成 1 1 年特許願第 1 6 2 7 9 2 号

出 願 人

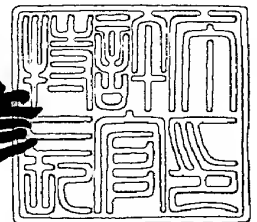
Applicant (s):

古河電気工業株式会社

1 9 9 9 年 9 月 2 4 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特平 1 1 - 3 0 6 4 5 7 3

【書類名】 特許願

【整理番号】 990057

【提出日】 平成11年 6月 9日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/043

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 向原 智一

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 山口 武治

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

 【氏名】 粕川 秋彦

【特許出願人】

 【識別番号】 000005290

 【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100090022

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 長門 侃二

 【電話番号】 03-3459-7521

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 007537

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】	明細書	1
【物件名】	図面	1
【物件名】	要約書	1
【プルーフの要否】	要	

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 $1.1 \mu\text{m}$ 以下の波長帯域で発振する半導体レーザ素子であって、量子井戸構造から成る活性層を含む半導体の積層構造が形成され、一方の端面に低反射膜、他方の端面に高反射膜がそれぞれ形成され、かつ共振器長が $1200 \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 2】 前記低反射膜の反射率が 5% 以下である請求項 1 の半導体レーザ素子。

【請求項 3】 前記活性層が、1 個または 2 個の量子井戸構造から成る請求項 1 または 2 の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は半導体レーザ素子に関し、更に詳しくは、 $1.1 \mu\text{m}$ 以下という比較的短い波長例えば $0.98 \mu\text{m}$ の波長で発振する利得導波型のレーザ素子のように数百 mW の高光出力を必要とする半導体レーザ素子であって、電流-光出力特性における直線性が大電流駆動時でも確保されており、光ファイバ増幅器用励起光源として有用な半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

量子井戸構造から成る活性層（発光領域）を有する半導体レーザ素子は、注入されたキャリアが量子井戸方向に量子化されてキャリアのエネルギー状態の密度が階段状となるため、利得係数が駆動電流に対して急激に立ち上がり、その結果として低いしきい値電流密度でもレーザ光を発振する。このような利得導波型の半導体レーザ素子は、バルク半導体の活性層を有する半導体レーザ素子に比べて高光出力動作をするので、光ファイバ増幅器用の励起光源としての実用化研究が進められている。

【0003】

例えば、波長 $0.98 \mu\text{m}$ で発振する次のような半導体レーザ素子が光ファイバ増幅器用の励起光源として研究対象になっている。それを図面に則して説明する。

図4はその半導体レーザ素子を示す側面図であり、図5は図4のV-V線に沿う断面図である。

【0004】

この素子Aは、 $n\text{-GaAs}$ 基板1の上に、 $n\text{-AlGaAs}$ から成る下部クラッド層2、 InGaAs と GaAs から成る量子井戸構造の活性層3、 $p\text{-AlGaAs}$ から成る上部クラッド層4、 $p\text{-GaAs}$ から成るキャップ層5が積層された半導体の層構造を有している。そして、上部クラッド層4の一部およびキャップ層5はメサ構造になっていて、メサ構造の側面には SiN から成るパッシベーション膜6が形成され、またキャップ層5およびパッシベーション膜6の上には Ti/Pt/Au から成る上部電極7が、基板1の裏面には AuGe/Ni/Au から成る下部電極8がそれぞれ形成されている。

【0005】

そして、素子Aは、例えばMOCVD法で $n\text{-GaAs}$ 基板上に上記した層構造を形成したのち所定の共振器長 L で劈開され、その一方の断面 S_1 に例えば SiN から成る低反射膜9を成膜し、他方の端面 S_2 に例えば SiO_2/Si から成る高反射膜10を成膜して製造されている。

ところで、このような構造の素子Aの場合、高光出力化を実現するためには共振器長 L を長くすることが効果的であるとされている。その理由は、共振器長が長くなると、仮にしきい値電流密度が同じであっても大きな駆動電流を注入することができ、熱の影響を低減させ、その結果高出力が期待できるからである。しかしながら、他方では共振器長を長くしすぎると、素子Aの微分量子効率が低下して高光出力動作のために必要な電流が大きくなるという問題が生ずる。したがって、このような構造の素子Aにおける共振器長 L は $1000 \mu\text{m}$ を超えないように設計されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、本発明者らは、図4と図5で示した層構造の素子Aにおいて共振器長Lを1000 μ mにしたときの電流-光出力特性を調べてみた。その結果、図6に示すような特性図が得られ、次のような新たな知見を得るに至った。

すなわち、図6から明らかなように、200mA程度の駆動電流(A_1)を注入する時点で光出力には第1のキンク(a_1)が発生してそれまでの駆動電流と光出力との直線関係は消失し、そして、更に駆動電流を大きくして500mA程度の駆動電流(A_2)になると、光出力には第2のキンク(a_2)が発生したのである。すなわち、この素子Aの場合、駆動電流を大きくしていくと、電流-光出力特性図には2種類のキンク a_1 、 a_2 が発生するという新たな知見が得られたのである。

【0007】

そこで、本発明者らは、まず、この素子Aの発振スペクトルに関して詳細に調べてみた。その結果を以下に説明する。

(1) まず、発振スペクトル図を図7に示す。

この発振スペクトル図から明らかなように、利得帯域g内に存在する発振縦モードの数は少なく、それぞれの発振縦モード間の間隔は大きく、中央に位置する発振縦モード B_0 はサイドモード B_1 、 B_2 に対して5dB以上の強度になっていて、全体としては、中央の発振縦モード B_0 で律速されるシングル縦モード発振が支配的になっていることが判明した。

【0008】

(2) そして、第1のキンク(a_1)が発生したときの発振スペクトル図では、利得帯域が全体として長波長側に0.4nm程度シフトし、中央に位置する発振縦モード B_0 が隣接するサイドモード B_2 にジャンプすることが判明した。

ところで、(1)の知見は、この素子Aが0.98 μ mという短波長帯域で発振する利得導波型の素子であるということから説明することができる。

【0009】

一般に、シングル縦モード発振の発生確率は、次式：

$$\beta_{sp} = \Gamma \cdot \lambda^4 \cdot K / 4 \pi^2 \cdot n^3 \cdot V \cdot \delta \lambda \quad \dots (1)$$

(式中、 Γ は活性層の閉じ込め係数、 λ は発振波長、Kは横モードの複

素性を反映する因子、 n は等価屈折率、 V は活性層の体積、 $\delta\lambda$ はスペクトルの広がりの意味する)

で示される自然放出光係数 (β_{sp}) と関係しており、この β_{sp} 値が小さくなればなるほどシングル縦モード発振が起こりやすいとされている。

【0010】

このようなことからして、素子Aの場合、発振波長 (λ) は $0.98\mu\text{m}$ という短波長であるため、 β_{sp} は λ の4乗に比例して小さくなっており、そのためシングル縦モード発振を起こす確率の高い素子になっているものと考えられる。

しかしながら、このようなシングル縦モード発振をする素子Aを光ファイバに接続してモジュールを構成した場合には、次のような問題が生じてくる。すなわち、シングル縦モード発振したレーザ光は、接続されている光ファイバの端部からの戻り光の影響を受けてその雑音特性が劣化し、また戻り光によりレーザ光の発振状態が不安定となり、そのためモジュールから取り出す光出力の不安定化やモニタ電流の不安定化を引き起こすという問題である。

【0011】

したがって、この素子Aを光ファイバ増幅器用の励起光源として信頼性の高いものにするためには、シングル縦モード発振に起因する上記問題を解決することが必要になる。

また、(2)の知見は次のことを意味する。すなわち、このシングル発振縦モードにおける各縦モードの間では大きな利得差が存在していることを考えると、縦モードの飛びが起こるということは、光出力が不連続に大きく変動するということである。このようなことから、注入電流が A_1 程度になると電流-光出力特性における直線性が消失し、その結果として第1のキンク (a_1) が発生するものと考えられる。

【0012】

次に、本発明者らは、この素子Aの遠視野像を観察した。その結果、図8に示すような知見が得られた。

図8において、曲線 C_1 は注入電流が A_2 より小さいときの発振横モードを示し、曲線 C_2 は注入電流が A_2 付近のとき (第2のキンク a_2 が発生するとき) の発

振横モードを示す。

【0013】

図8から明らかなように、注入電流が A_2 へと大きくなると、単峰性の発振横モードは、素子Aの中心位置から水平方向に移動する。すなわち、レーザ光の射出方向が変化している。

そのため、素子Aに光ファイバを接続してモジュールを構成した場合には、注入電流が A_2 付近の値になると、光ファイバを通して取り出される光出力が変動することになる。そして、このことが、結果として、電流-光出力特性図における第2キंक (a_2) として発生するものと考えられる。

【0014】

本発明は、 $0.98\mu\text{m}$ という短波長帯域で発振する素子Aに関する上記した新たな知見に基づいて開発された利得導波型の半導体レーザ素子であって、注入電流が500mA以上であっても電流-光出力特性図にキंकは発生せず、光ファイバ増幅器用の励起光源として高い信頼性を備えている新規な半導体レーザ素子の提供を目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、上記した目的を達成するための研究の過程で、次のような考察を行った。

(1) まず、 $0.98\mu\text{m}$ 程度の短波長帯域で発振する利得導波型の半導体レーザ素子の場合には、シングル縦モード発振を起こす確率が高い。そして、各縦モードの間隔は広く、注入電流が大きくなると縦モードの飛びが起こって光出力が大きく変動し、その結果が電流-光出力特性図における第1のキंक (a_1) として発現する。

そして、各縦モードの間隔は素子の共振器長 (L) の逆数に比例することが知られている。したがって、素子の共振器長 (L) を長くすれば、各縦モードの間隔を狭くすることができるので、縦モードの飛びに伴う光出力の変動を小さくすることが可能であると考えられる。

【0016】

(2) また、第2のキンク (a_2) を引き起こす発振横モードのシフトは、素子に大きな電流が注入されたことにより、素子(共振器)の抵抗発熱が高まり、その結果、各半導体層の屈折率が変化して水平方向におけるレーザ光の閉じ込め効果に変化したことに起因した現象であると考えられる。

したがって、この第2のキンクの発生を防ぐためには、大きな電流を注入しても素子(共振器)の抵抗発熱が小さくなるようにすればよいと考えられる。そのためには、素子の共振器長を長くして素子の抵抗を下げればよいものと考えられる。

【0017】

(3) その場合、素子の共振器長(L)を長くすると発光効率の低下を招くが、それは、素子における発光面を低反射面とすることにより解決可能であると考えられる。

【0018】

本発明者らは、上記した考察を踏まえて素子Aにおける共振器長(L)を変化させてその電流-光出力特性を調べたところ、共振器長(L)を後述する値以上にすると、電流-光出力特性図の直線性が確保されとの知見を得、本発明の半導体レーザ素子を開発するに至った。

すなわち、本発明の半導体レーザ素子は、 $1.1 \mu\text{m}$ 以下の波長帯域で発振する半導体レーザ素子であって、量子井戸構造から成る活性層を含む半導体の積層構造が形成され、一方の端面に低反射膜、他方の端面に高反射膜がそれぞれ形成され、かつ共振器長が $1200 \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。

【0019】

好ましくは、前記低反射膜の反射率が5%以下であり、前記活性層が、1個または2個の量子井戸構造から成る半導体レーザ素子が提供される。

【0020】

【発明の実施の形態】

本発明の素子を、図4と図5で示した層構造の素子Aを例にして以下に説明する。

まず、本発明の素子は、半導体基板上に例えばMOCVD法で半導体材料を積

層した層構造を有し、活性層 3 が量子井戸構造になっている。その場合、素子 A で用いた材料の外に、InP 系、GaInNAs 系などの半導体材料を使用することができる。

【0021】

そして、本発明の素子における最大の特徴は、共振器長 (L) が $1200\mu\text{m}$ 以上になっていることである。

共振器長 (L) が長くなると、前記したように、発振スペクトル図の利得帯域内に存在する発振縦モードの間隔は共振器長の逆数に比例して狭くなる。例えば、共振器長 (L) を $1200\mu\text{m}$ 以上にし、量子井戸構造を InGaAs/GaAs で形成した場合、発振縦モード間の間隔は 0.12nm 程度になる。そしてその発振スペクトルは、利得帯域内で多数の発振縦モードが狭い間隔で密集するマルチ発振縦モードになる。

【0022】

したがって、この素子に光ファイバを接続したモジュールの場合、光ファイバからの戻り光もマルチ縦モードになっているため、その戻り光によるレーザ光の発振状態の不安定化などという問題が抑制される。

また、このマルチ発振縦モードの場合、各縦モード間の利得差は小さくなっているため、仮に縦モードの飛びが起こってもそのときの光出力の変動は小さく、その結果として、電流-光出力特性における第 1 のキンク (a_1) は発生しなくなる。

【0023】

このようなマルチ発振縦モードを安定化させるためには、量子井戸構造から成る活性層の体積を小さくすることが好ましい。具体的には、活性層を 1 個または 2 個の量子井戸構造で形成することが好ましい。

活性層の体積を小さくすれば、(1) 式で示される β_{sp} 値が大きくなり、シングル縦モード発振が抑制されるようになるからである。しかも、活性層の体積が小さくなると、共振器内における内部損失は低減し、その結果、光出力の向上が実現できるからである。

【0024】

また、共振器長 (L) を $1200\ \mu\text{m}$ 以上にすると、その体積抵抗は小さくなり、注入電流を大きくしても活性層の温度上昇が抑制されてレーザ光閉じ込め効果は確保される。その結果、従来素子の場合のような発振横モードの位置ずれは起こらず、電流-光出力特性における第2のキンク (a_2) は起こらないようになる。

【0025】

このように、本発明の素子の場合、共振器長 (L) を $1200\ \mu\text{m}$ に設定することにより、電流-光出力特性図におけるキンク a_1 , a_2 の発生が起こらなくなり、その直線性が確保される。

しかしながら、共振器長 (L) が長くなることによりその発光効率の低下が引き起こされるようになるので、本発明の素子においては、共振器の一方の端面に低反射膜を形成することが好ましい。

【0026】

具体的には、反射率が5%以下の低反射膜が共振器の一方の端面に形成され、他方の端面には反射率が80%以上の高反射膜が形成される。

【0027】

【実施例】

n-GaAsから成る基板1の(100)面に、n-AlGaAsから成る厚み $2\ \mu\text{m}$ の下部クラッド層2、InGaAsとGaAsから成る2層の量子井戸構造から成る活性層3、p-AlGaAsから成る厚み $2\ \mu\text{m}$ の上部クラッド層4、p-GaAsから成る厚み $0.3\ \mu\text{m}$ のキャップ層5をMOCVD法で順次積層したのち、その層構造の上部を幅 $4\ \mu\text{m}$ 、高さ $2\ \mu\text{m}$ のメサ形状にし、更にその全面をSiNから成るパッシベーション膜6で被覆した。そして、基板1の裏面を研磨して厚み約 $100\ \mu\text{m}$ にし、キャップ層5の上面に位置するパッシベーション膜を除去したのち、その上にTi/Pt/Auから成る上部電極7、基板1の裏面にAuGe/Ni/Auから成る下部電極8をそれぞれ形成して、図5で示した層構造にした。

【0028】

ついで、この基板を劈開して共振器長 (L) が異なるバーにしたのち、一方の

端面 S_1 に SiN から成る反射率 2% の低反射膜 9 を、他方の端面 S_2 に SiO_2 / Si から成る反射率 95% の高反射膜 10 をそれぞれ形成し、最後に、このバーを加工してチップ化し、図 4 で示した素子を製造した。

得られた各素子のキンクが発生する注入電流の大きさ（以下、キンク電流という）を測定した。その結果を、素子の共振器長（L）との関係として図 1 に示した。

【0029】

図 1 から明らかなように、素子の共振器長（L）を $800\mu m$ 以上にすると、キンク電流は直線的に大きくなっている。とくに、共振器長（L）を $1200\mu m$ 以上にすると、本発明が対象とするような注入電流が数百 mA と大きくなる場合であってもキンクは起こらない素子になっている。

また、共振器長（L）を $1500\mu m$ にした素子の注入電流 200 mA における発振スペクトル図を図 2 に示す。

【0030】

図 2 から明らかなように、この素子の場合、利得帯域 g 内に多数の縦モードが狭い間隔で存在するマルチ発振縦モードになっている。この縦モード間の間隔は $0.1 nm$ 程度であった。

更に、この素子の電流－光出力特性図を図 3 に示す。

図 3 から明らかなように、この素子の場合、注入電流が 700 mA までの間、キンクは発生せず、電流－光出力特性の直線性が確保させている。

【0031】

なお、この素子（共振器長 $1500\mu m$ ）の場合、その発光効率 $1 W/A$ と良好な値を示し、また注入電流が 500 mA のときの駆動電圧は 2 V であり、活性層の発熱も抑制され、横モードの位置ずれも起こしていなかった。

【0032】

【発明の効果】

以上の説明で明らかなように、本発明の利得導波型の半導体レーザ素子は、マルチ縦モード発振するので、それを光ファイバに接続したモジュールにおいて、戻り光による悪影響が抑制され、また遠視野像における横モードのずれも生じな

いので、取り出す光出力の変動も抑制され、全体として、注入電流を大きくしても電流－光出力特性の直線性が確保される。

【0033】

したがって、本発明の素子は、光ファイバ増幅器用の励起光源としてその工業的価値は大である。

【図面の簡単な説明】

【図1】

共振器長とキンク電流との関係を示すグラフである。

【図2】

共振器長が $1500\mu\text{m}$ である本発明の素子の発振スペクトル図である。

【図3】

共振器長が $1500\mu\text{m}$ である本発明の素子の電流－光出力特性図である。

【図4】

利得導波型のレーザ素子Aを示す側面図である。

【図5】

図4のV－V線に沿う断面図である。

【図6】

図4の素子A（共振器長 $1000\mu\text{m}$ の場合）の電流－光出力特性図である。

【図7】

図4の素子の発振スペクトル図である。

【図8】

図4の素子の遠視野像における横モードを示すグラフである。

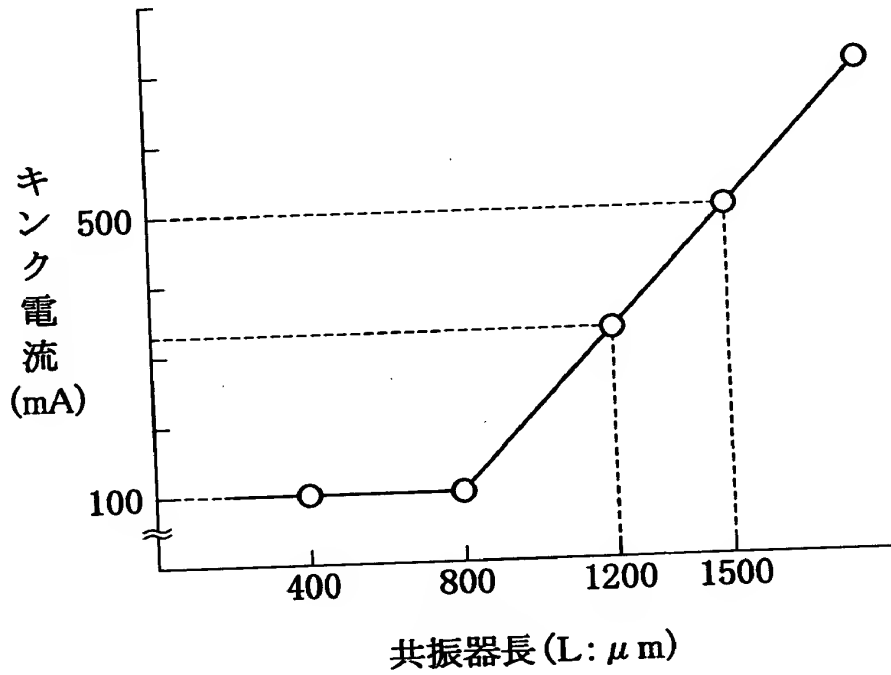
【符号の説明】

- 1 n-GaAs 基板
- 2 n-AlGaAs 層（下部クラッド層）
- 3 AlGaAs/GaAs の量子井戸構造（活性層）
- 4 p-AlGaAs 層（上部クラッド層）
- 5 p-GaAs 層（キャップ層）
- 6 SiN のパッシベーション膜

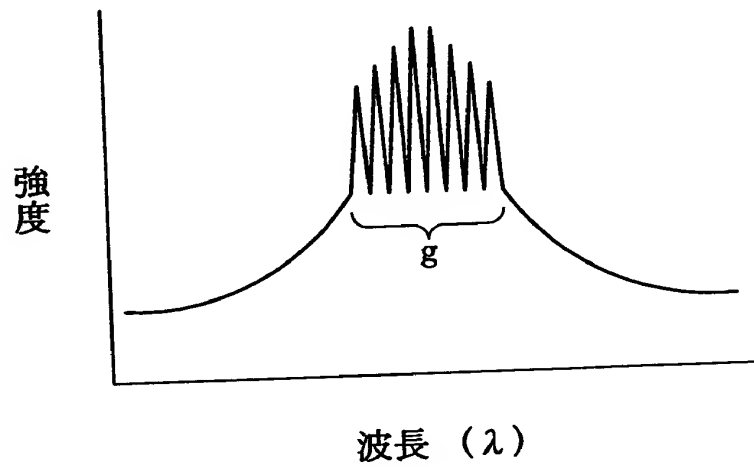
- 7 上部電極
- 8 下部電極
- 9 低反射膜
- 10 高反射膜

【書類名】 図面

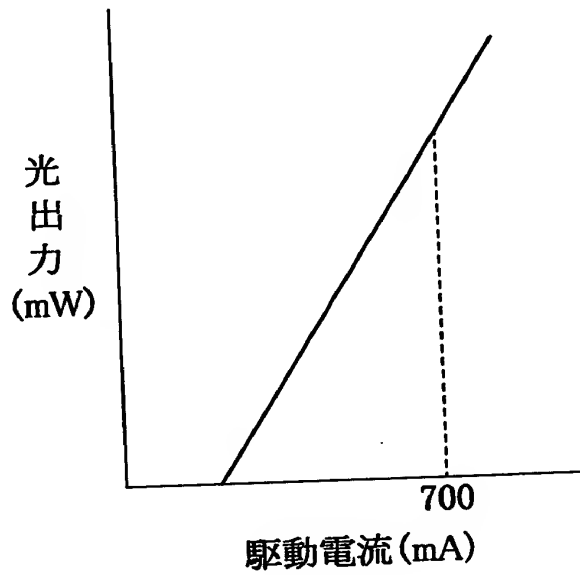
【図1】



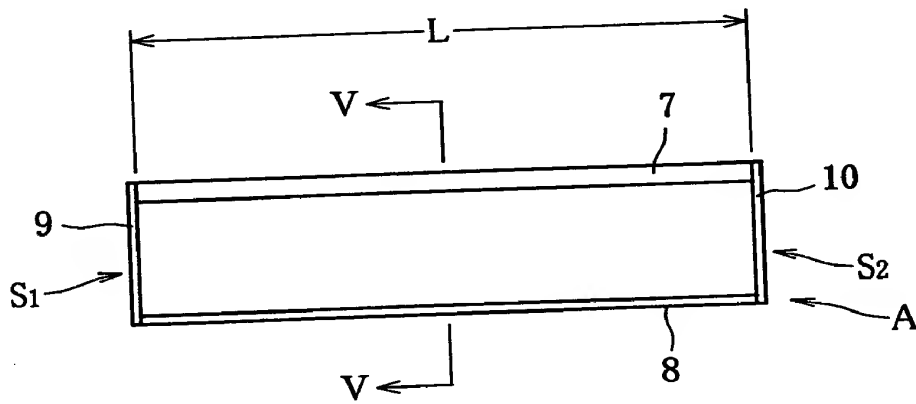
【図2】



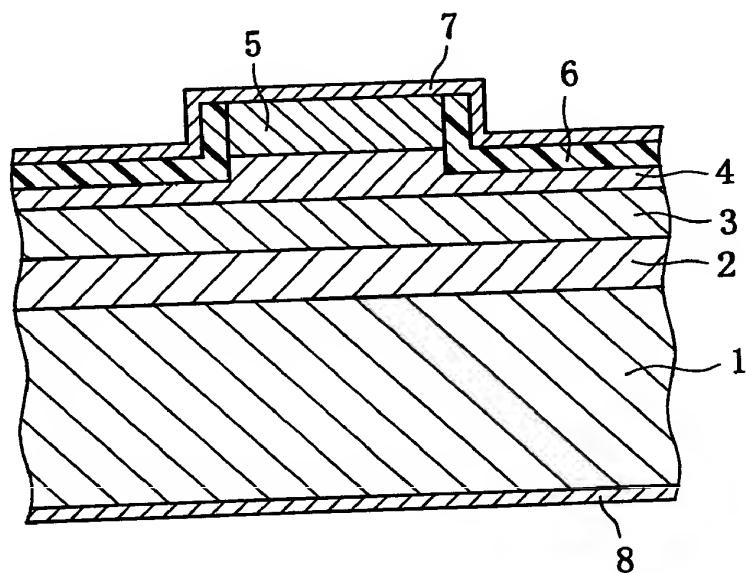
【図 3】



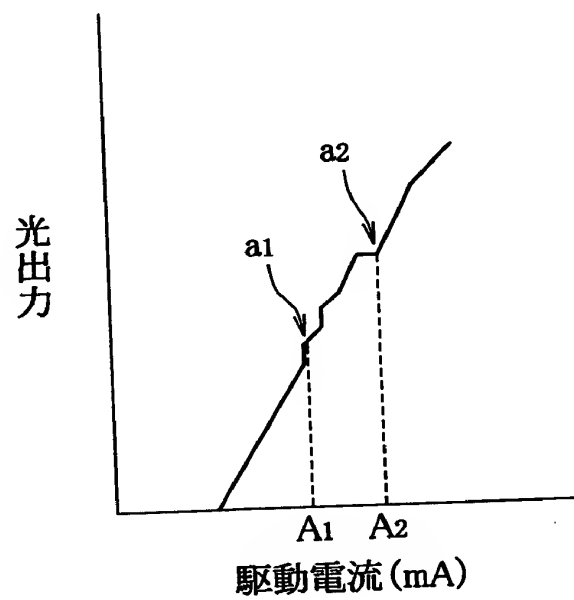
【図 4】



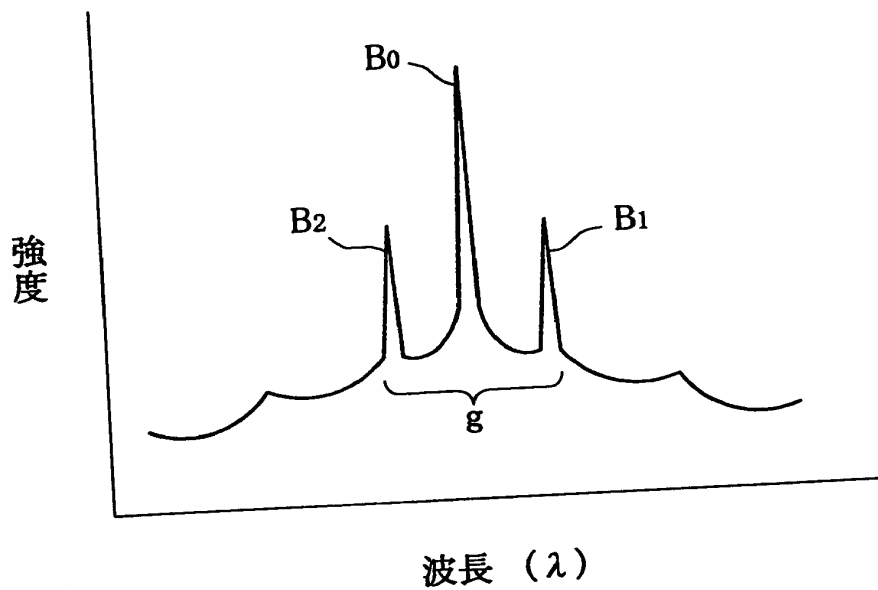
【図 5】



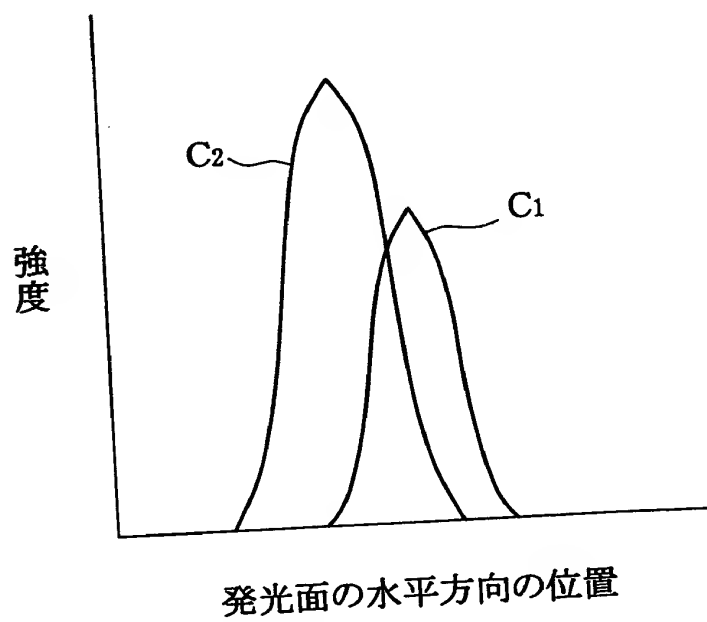
【図 6】



【図7】



【図8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 キンク電流が大きく、電流-光出力特性の直線性が確保されていて、光ファイバ増幅器用の励起光源として有用な利得導波型の半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】 この半導体レーザ素子は、 $1.1\ \mu\text{m}$ 以下の波長帯域で発振する半導体レーザ素子であって、量子井戸構造から成る活性層を含む半導体の積層構造が形成され、一方の端面 S_1 に低反射膜9、他方の端面 S_2 に高反射膜10がそれぞれ形成され、かつ共振器長(L)が $1200\ \mu\text{m}$ 以上である

【選択図】 図4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

{000005290}

1. 変更年月日

1990年 8月29日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

氏 名

古河電気工業株式会社